

## **BADANIA WSTĘPNE RECYKLINGU KOMPOZYTÓW METALOWYCH ZBROJONYCH CZĄSTKAMI CERAMICZNYMI**

### **PRELIMINARY STUDIES OF RECYCLING OF METAL COMPOSITES REINFORCED WITH CERAMIC PARTICLES**

M. ŁĄGIEWKA<sup>1</sup>, Z. KONOPKA<sup>2</sup>, A. ZYSKA<sup>3</sup>, M. NADOLSKI<sup>4</sup>

**STRESZCZENIE:** W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań ponownego wykorzystania złomu kompozytowego. W celu przeprowadzenia badań wykonano trzy rodzaje kompozytów na osnowie stopu AlSi19Mg; pierwszy zbrojony cząstkami węgla krzemu, drugi cząstkami grafitu i trzeci zbrojony ciętym włóknem węglowym. Następnie kompozyty te poddawano ponownemu przetapianiu i odlewaniu grawitacyjnemu do form metalowych. Po wykonaniu zglądów metalograficznych dokonywano oceny struktury przetopionych materiałów. Przetopione odlewy kompozytowe odlewano również odśrodkowo, aby umożliwić późniejsze mechaniczne usunięcie warstwy, w której usadowiło się zbrojenie, i odzyskanie w ten sposób stopu osnowy. Kolejną metodą było przelanie zawiesin kompozytowych przez filtr ceramiczny umieszczony w formie. Metoda ta miała na celu odseparowanie zbrojenia od materiału osnowy.

**ABSTRACT:** The work presents results of studies concerning reuse of composite scrap. three types of AlSi19Mg alloy matrix composites have been made. In order to perform investigations; the first reinforced with a silicon carbide, the second with graphite particles and the third reinforced with chopped carbon fibre. Next these composites have been submitted to remelting and has been gravity cast into a metal mould. Metallographic specimens have enabled an evaluation of structure of the remelted materials. The remelted castings have been also centrifugally cast to enable further mechanical elimination of a layer in which the reinforcement has been arranged and recovering of alloy matrix. The following method has consisted in passing the composite suspension through a ceramic filter located in the mould. The method has been aimed at separating the reinforcement from the alloy matrix.

**SŁOWA KLUCZOWE:** recykling, kompozyty metalowe, węgiel krzemu, grafit, włókna węglowe.

**KEY WORDS:** recycling, metal composites, silicon carbide, graphite, carbon fibre

## **1 WPROWADZENIE**

Pod pojęciem recyklingu rozumie się odzysk, który polega na powtórnym przetwarzaniu substancji lub materiałów zawartych w odpadach w procesie produkcyjnym w celu uzyskania substancji lub materiału o przeznaczeniu pierwotnym lub innym [1]. Wykorzystanie odpadów staje się racjonalne wówczas, gdy recykling odbywa się jak najbliżej miejsca ich powstawania, z drugiej zaś strony, gdy wprowadzanie materiałów do procesu produkcyjnego odbywa się jak

<sup>1</sup> Dr inż. Małgorzata Łągiewka – Katedra Odlewnictwa PCz Częstochowa

<sup>2</sup> Dr hab. inż. Zbigniew Konopka prof. PCz – Katedra Odlewnictwa PCz Częstochowa

<sup>3</sup> Dr inż. Andrzej Zyska – Katedra Odlewnictwa PCz Częstochowa

<sup>4</sup> Dr inż. Maciej Nadolski – Katedra Odlewnictwa PCz Częstochowa

najbliżej wyrobu finalnego. Takim przykładem może być wykorzystanie odpadów metalowych w odlewniach. Zdarzają się jednak odpady, które wymagają specyficznych warunków przetwarzania. Przykładem mogą być np. puszki po napojach czy złom kompozytowy. Produkowane przez przemysł odlewniczy ilości odpadów wymagają zróżnicowanych metod recyklingu, np. odpady metalowe stanowią cenny materiał wsadowy, zużyte masy formierskie podlegające regeneracji-recykling materiałowy, odlewy wadliwe, po naprawie-recykling produktowy oraz gazy o pewnej wartości opałowej-recykling energetyczny [2]. Recykling metalowych materiałów kompozytowych stwarza wiele problemów. Materiały te nadają się w zasadzie tylko do ponownego przetopienia. W zależności od tego jaki rodzaj mechanizmu połączenia zbrojenia z osnową występuje w kompozycie, w trakcie ponownego przetopu może dojść do rozrostu bądź degradacji warstwy przejściowej, co z kolei może mieć pozytywny lub negatywny wpływ w przypadku połączeń adhezyjnych między zbrojeniem a osnową. Własności kompozytów po powtórny przetopie z reguły są niższe niż kompozytu przed przetopem [3,4]. Istnieją również metody recyklingu kompozytów metalowych polegające na rozdzieleniu materiału osnowy od zbrojenia [5-7]. Jednak stosuje się ten sposób odzyskiwania stopu najczęściej w przypadku kompozytów tzw. nasycanych. Wzrost produkcji metalowych materiałów kompozytowych wymaga opracowania technologii powtórnego wykorzystania odpadów produkcyjnych oraz zużytych części maszyn i urządzeń wykonanych z tego typu materiałów. Odpady kompozytowe można wykorzystywać jako złom wsadowy do produkcji nowych części odlewanych lub próbować oddzielić zbrojenie od osnowy metalowej, aby móc ponownie wykorzystać stop osnowy.

## 2 METODYKA I WYNIKI BADAŃ

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań nad wykorzystaniem złomu kompozytowego o osnowie stopu  $AlSi19Mg$  zbrojonego cząstkami grafitu, cząstkami węgla krzemu jak również krótkimi włóknami węglowymi. Do wykonania kompozytów zastosowano cząstki grafitu oraz cząstki węgla krzemu o wielkości od 100 do 160  $\mu m$ . W celu usunięcia wilgoci cząstki wygrzewano w temperaturze 250°C. Włókna zastosowane do badań były to włókna węglowe cięte o długości 5 mm i średnicy 7  $\mu m$  dostarczone przez producenta w pakietach połączonych żywicą, którą przed wprowadzeniem włókien do stopu osnowy należało usunąć.

Wszystkie kompozyty zostały wytworzone poprzez mieszanie mechaniczne ciekłego stopu z jednoczesnym prowadzeniem zbrojenia do mieszanego stopu. Zastosowano mieszadło śmigłowe o średnicy 0,05 m z trzema łopatkami pochylonymi pod kątem 45°. Każdorazowo mieszanie odbywało się pod osłoną argonu. Tak przygotowane zawiesiny kompozytowe odlewano grawitacyjnie do form metalowych. Następnie odlewy kompozytowe poddawano ponownemu przetapianiu. Pierwszą partię złomu kompozytowego roztapiano do temperatury 923K i ponownie odlewano do form metalowych. Ponowne przetapianie i odlewanie prowadzono w celu obserwacji struktury kompozytów mając szczególnie na uwadze ocenę równomierności rozmieszczenia zbrojenia w osnowie jak również ocenę stopnia zanieczyszczenia kompozytów po ponownym przetopie. Drugą partię kompozytów po przetopieniu odlewano do form w których zostały umieszczone filtry ceramiczne (rys.1). Metoda przelania zawiesin kompozytowych przez filtr miała na celu próbę odzyskania metalu, odseparowania materiału zbrojącego od osnowy kompozytu. W tej metodzie metal przegrzewano do temperatury 1023 K, ponieważ zastosowanie niższych temperatur skutkowało zatrzymaniem się całego materiału przed filtrem.

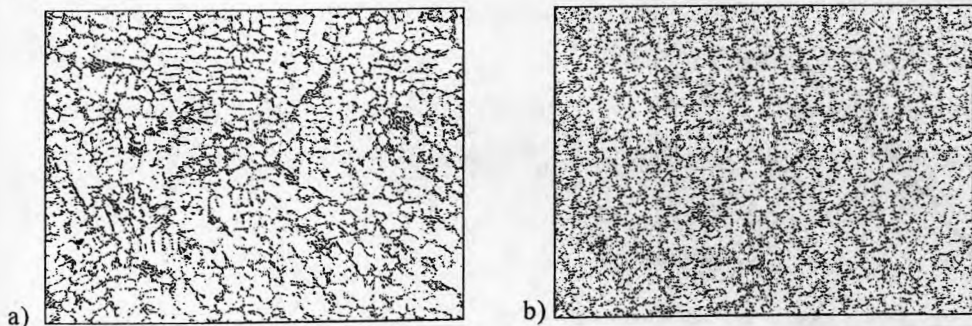


**Rys.1-**Forma z umieszczonymi filtrami ceramicznymi

Trzecią partię złomu przetopiono i odlewano odśrodkowo. Przed odlewaniem forma była podgrzana od temperatury 200°C. Temperatura zalewania wynosiła 923 K, a prędkość obrotowa wirówki 900 obr/min. W tej metodzie odlewania cięższe cząstki SiC pod wpływem sił odśrodkowych powinny osadzać się po zewnętrznej stronie odlewu, wówczas istniałaby możliwość mechanicznego usunięcia zewnętrznych warstw odlewu i w ten sposób odzyskanie znacznej części metalu. Kompozyty odlewane odśrodkowo mają również szereg innych zalet. Podczas odlewania odśrodkowego otrzymujemy odlew o strefowym zbrojeniu, gdzie zbrojenie powinny układać się po zewnętrznej lub wewnętrznej stronie odlewu. Umożliwia to wytworzenie odlewów, których główną zaletą będzie to, że jedna z warstw odlewu będzie charakteryzować się wysoką odpornością na ścieranie.

Po zakończonych wytopach z wykonanych odlewów wycięto próbki do przygotowania zglądów metalograficznych. Ze zglądów wykonano zdjęcia mikrostruktur badanych kompozytów na mikroskopie świetlnym firmy Nikon. Obserwowano przede wszystkim rozmieszczenie cząstek grafitu, węgla krzemu i włókien w osnowie kompozytu oraz stopień zanieczyszczenia odlewów kompozytowych po ponownych przetopach. Dla celów porównawczych wykonano również odlewy ze stopu osnowy.

Na rysunku 2a przedstawiono mikrostrukturę stopu AlSi19Mg odlanego grawitacyjnie do formy metalowej. Po zakrzepnięciu odlewu, ponownym przetopieniu i odlaniu stopu wykonano zglądy metalograficzne w celu obserwacji ewentualnych zanieczyszczeń struktury. Rysunek 2b pokazuje mikrostrukturę stopu AlSi19Mg po przetopieniu. Nie zaobserwowano większej ilości zanieczyszczeń w przetopionym stopie w porównaniu ze stopem odlanym bezpośrednio z przetopionej gąski dostarczonej przez producenta.

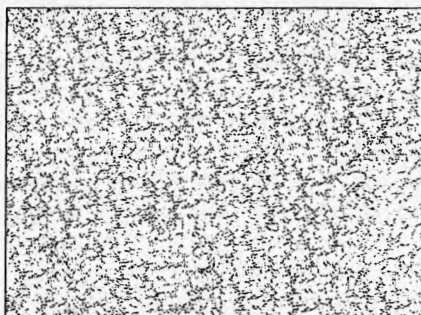


**Rys.2-a)** Mikrostruktura stopu AlSi19Mg odlanego bezpośrednio z przetopionej gąski,  
**b)** Mikrostruktura stopu AlSi19Mg po ponownym przetopieniu, pow. 100x.

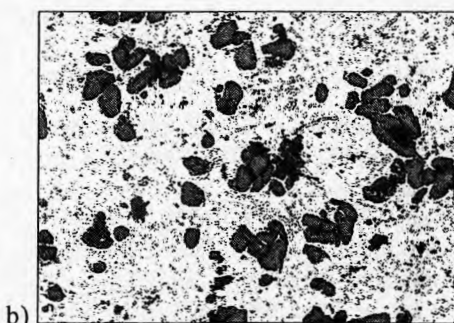
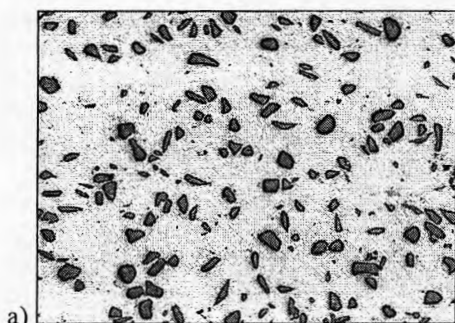


Na rysunku 3 przedstawiono przykładową mikrostrukturę osnowy stopu, która pozostała po przelaniu zawiesiny kompozytowej zawierającej cząstki SiC przez filtr ceramiczny. W stopie nie zaobserwowano zanieczyszczeń w postaci tlenków czy porowatości, nie zaobserwowano również cząstek SiC. Odzyskano w ten sposób ok. 50% stopu osnowy. W przypadku kompozytów z cząstkami grafitu odzyskano mniejsze ilości osnowy (ok. 30%), najmniej stopu odzyskano z kompozytów zawierających włókna węglowe (ok. 20%). W wszystkich przypadkach stop nie był zanieczyszczony oraz nie zawierał pozostałości zbrojenia więc nadawał się do ponownego wykorzystania.

Na rysunkach 4-6 przedstawiono mikrostruktury kompozytów wytworzonych poprzez mieszanie ciekłego stopu z równoczesnym wprowadzeniem zbrojenia (a) oraz mikrostruktury kompozytów po ponownym przetopie uprzednio wykonanych odlewów kompozytowych (b).

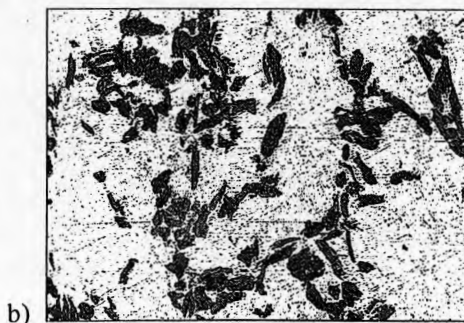


**Rys.3-**Mikrostruktura stopu AlSi19Mg otrzymanego po przelaniu zawiesiny kompozytowej zawierającej cząstki SiC przez ceramiczny filtr.



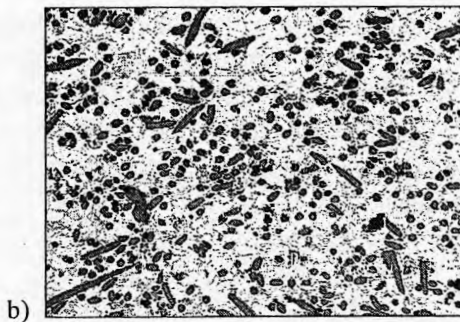
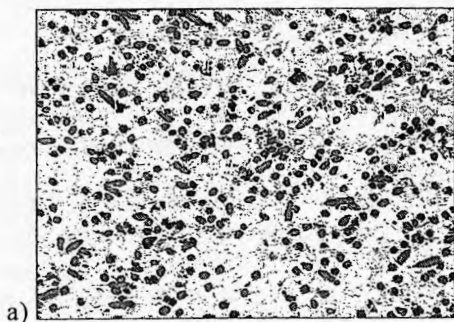
**Rys.4-a)** Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% SiC, pow. 100x

**b)** Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% SiC po ponownym przetopie.



**Rys.5-a)** Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% Cgr, pow. 100x

**b)** Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% Cgr po ponownym przetopie.



**Rys.6-a)** Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% WW, pow. 100x

**b)** Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% WW po ponownym przetopie.

Po obserwacji mikrostruktur można stwierdzić, że kompozyty po ponownym przetopie charakteryzują się nieco mniej równomiernym rozmieszczeniem zbrojenia w osnowie, pojawiają się nieliczne skupiska szczególnie w kompozytach z węglikiem krzemu jak i z grafitem, jak i nieliczne zanieczyszczenia, w szczególności w kompozycie zawierającym czastki SiC. Jednak nie są to kompozyty które nie nadawały się do pracy w warunkach dla nich przeznaczonych.

Na kolejnych rysunkach 7-9 pokazano mikrostruktury kompozytów przetopionych i odlanych odśrodkowo. Zbrojenie powinno lokować się w wewnętrznej lub zewnętrznej warstwie odlewu odśrodkowego, którą następnie możnaby mechanicznie usunąć i w ten sposób odzyskać stop osnowy. Podczas przeprowadzonych badań nie udało się uzyskać strefowego zbrojenia odlewu w przypadku kompozytów z grafitem i włóknem węglowym. Zbrojenie w tych kompozytach było rozmieszczone równomiernie w objętości osnowy, co oczywiście również nie dyskwalifikowało odlewów kompozytowych do ich dalszego wykorzystania. Zamierzony cel częściowo uzyskano w kompozytach z cząstkami SiC, cząstki ulokowały się wraz z zanieczyszczeniami w wewnętrznej warstwie odlewu. W zewnętrznej warstwie pozostały nieliczne cząstki SiC więc po odcięciu warstwy wewnętrznej pozostały materiał można wykorzystać do ponownego przetopu.



**Rys.7-**Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% SiC odlewanego odśrodkowo



**Rys.8-**Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% C<sub>gr</sub> odlewanego odśrodkowo



**Rys.9-**Mikrostruktura kompozytu-stop AlSi19Mg + 10% WW odlewanego odśrodkowo

### 3 PODSUMOWANIE

Próby ponownego wykorzystania złomu kompozytowego polegały na ponownym przetopieniu złomu i odlewaniu grawitacyjnym, odlewaniu odśrodkowemu kompozytów przetopionych oraz odzyskaniu stopu osnowy poprzez usunięcie cząstek drogą przefiltrowania ciekłej zawiesiny.

Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku ponownych przetopów kompozytu AK9 zbrojonego cząstkami SiC, C<sub>gr</sub> bądź też WW rozmieszczenie cząstek zbrojących zasadniczo nie odbiega od ich rozmieszczenia w kompozytach pierwotnych. Wprawdzie występują nieliczne skupiska zbrojenia ale nie dyskwalifikują one wykorzystanie tych materiałów do dalszej pracy. Kolejną próbą recyklingu materiałów kompozytowych było przelanie ciekłych zawiesin kompozytowych przez filtr znajdujący się w formie. Ze względu na to, że temperatura, z jaką odlano kompozyt przez filtr za pierwszym razem spowodowała zatrzymanie się metalu na filtrze, postanowiono podnieść temperaturę do temperatury 1023 K. Przy takiej temperaturze otrzymano pozytywne rezultaty- zbrojenie oraz zanieczyszczenia zatrzymały się na filtrze. W strukturze odzyskanego stopu nie zaobserwowano zanieczyszczeń w postaci wtrąceń niemetalowych czy też porowatości. Odzyskana osnowa w pełni nadaje się do ponownego wykorzystania. W przypadku kompozytów zbrojonych SiC odzyskano 50% metalu, kompozytów zbrojonych C<sub>gr</sub> ok 30% metalu, a dla kompozytów zawierających cięte włókna węglowe-20% metalu. Przetopione kompozyty odlewano również odśrodkowo. Metoda ta miała również służyć odzyskaniu stopu osnowy. Gdyby cząstki osadziły się po zewnętrznych lub wewnętrznych częściach odlewu możliwe byłoby ich mechaniczne usunięcie. Taki też wynik uzyskano w przypadku kompozytów zbrojonych cząstkami SiC. W przypadku kompozytów zbrojonych cząstkami grafitu i włóknami węglowymi nie udało się uzyskać warstwowego zbrojenia. Uzyskano natomiast odlewy kompozytowe równomiernie zbrojone w całej objętości. Takie odlewy odśrodkowe mogą służyć jako części maszyn czy urządzeń, od których wymaga się wysokiej odporności na ścieranie.

Przeprowadzone badania wykazują celowość ponownego wykorzystania zużytych materiałów kompozytowych. Mogą one być wykorzystane do otrzymywania odlewów kompozytowych różnymi technologiami. W przypadku ponownego przetopu złomu kompozytowego odlewy uzyskane po odlewaniu grawitacyjnym i odśrodkowym charakteryzują się poprawną strukturą, nie odbiegającą od kompozytów pierwotnych. Nie zwiększyła się znacznie ilość zanieczyszczeń w stopie. W związku z tym należy się spodziewać, że kompozyty po ponownych przetopach swoimi właściwościami zasadniczo nie będą odbiegać od odlewów wykonanych z kompozytów wyjściowych.

### 4 LITERATURA

- [1] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Recykling>.
- [2] JACKOWSKI J., MODRZYŃSKI A., SZWEYCER M.: Wybrane problemy recyklingu w odlewniach, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, nr 6, Poznań 2007.
- [3] TOMCZYŃSKI SZ., MITKO M., Właściwości kompozytów AK7-SiC po ponownych przetopach, Kompozyty, rocznik 2, nr 4, 2002, s.217-219.
- [4] MITKO M., TOMCZYŃSKI SZ., Recykling kompozytów stop AK20-grafit syntetyczny, Kompozyty, rocznik 1, nr 2, 2001, s. 188-190.
- [5] NAGOLSKA D., SZWEYCER M., Dobór ośrodka do recyklingu odlewów z metalowych kompozytów nasyconych, Kompozyty, rocznik 3, nr 6, 2003, s. 101-105.
- [7] JACKOWSKI J., NAGOLSKA D., GRABIAN J., Recykling metalowych kompozytów nasyconych, Kompozyty, IV seminarium, 2000, s. 283-289.